

Ю. В. Яцук, О. О. Іванюк, Г. І. Влах-Вигриновська  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра комп’ютеризованих систем автоматики

## СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ З ОДНОКАНАЛЬНИМ ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ SCADA

© Яцук Ю. В., Іванюк О. О., Влах-Вигриновська Г. І., 2016

**Проаналізовано основні аспекти проектування системи регулювання температури з ПІД-регулятором із використанням технології SCADA. Запропоновано функціональну схему системи підтримання заданої температури із автоматизованим робочим місцем оператора. Розглянуто особливості розроблення людино-машинного інтерфейсу системи керування засобами SCADA Zenon.**

**Ключові слова:** система регулювання температури, ПІД-регулятор, технологія SCADA, людино-машинний інтерфейс, SCADA Zenon.

**This article deals with the analysis of the main aspects of system design temperature control with PID-regulator using SCADA technology. A functional diagram for maintaining the desired temperature with operator workstations has been offered. The features of the development of human-machine interface control system using SCADA Zenon have been considered.**

**Key words:** temperature control system, PID-regulator, SCADA technology, human-machine interface, SCADA Zenon.

### Вступ

Сучасні автоматичні системи регулювання (АСР) – це складні динамічні системи, що забезпечують високу точність відпрацювання сигналів регулювання в умовах дії різних збурень і перешкод, що впливають на об’єкт управління.

Сьогодні в промисловості та у сільському господарстві застосовуються сотні різних типів автоматичних систем регулювання, які забезпечують високу ефективність виробничих процесів та точність робіт. Водночас, незважаючи на появу деяких нових методів виконання завдань керування, таких як нейронні регулятори, генетичні алгоритми, адаптивні алгоритми, регулятори на основі нечіткої логіки тощо, можливості реального використання зазначених підходів є доволі обмеженими. Статистичні дослідження показують, що під час розроблення промислових АСР переважно застосовуються типові лінійні алгоритми керування, а найзатребуванішим є ПІД-алгоритм.

До того ж неможливо не відзначити сучасні тенденції зростання складності технологічних процесів і виробництв, збільшення кількості контрольованих параметрів, що спонукають до розроблення розподілених ієрархічних систем і їх наскрізного програмування та пояснюють появу нових комп’ютерних технологій. Прикладом виникнення таких технологій може бути динамічний розвиток SCADA-систем (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition), що призначаються для проектування та експлуатації автоматизованих систем керування [2].

### **Розроблення функціональної схеми та алгоритму роботи системи регулювання температури з ПІД-регулятором**

Враховуючи високу затребуваність та ефективність систем керування із типовими алгоритмами регулювання, а особливо з ПІД-алгоритмом, ми запропонували функціональну схему

системи регулювання температури з одноканальним ПІД-регулятором на основі SCADA-системи Zenon.

Функціональну схему проектованої системи показано на рис. 1. До складу системи входить:

- емулятор печі фірми ОВЕН ЕП10 (об'єкт регулювання);
- одноканальний терморегулятор фірми ОВЕН ТРМ210 (здійснює вихід та підтримання заданої температури за ПІД-законом регулювання);
- автоматизоване робоче місце (АРМ), реалізоване на основі SCADA-системи Zenon та OPC-сервера;
- перетворювач інтерфейсів АС4 (забезпечує зв'язок між терморегулятором та АРМ, а також дає змогу проводити налаштування ТРМ210 з ПК).

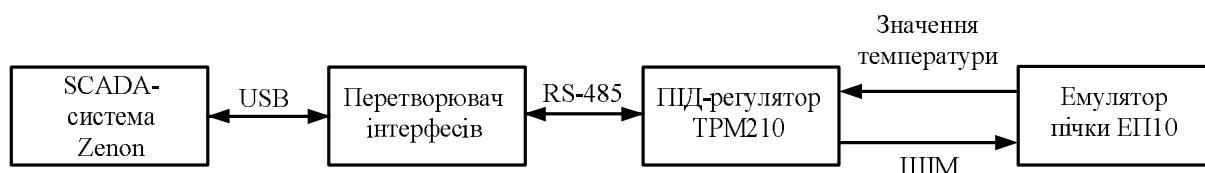


Рис. 1. Функціональна схема системи підтримання заданої температури

Розглянемо детальніше призначення та особливості роботи блоків системи.

Обраний терморегулятор призначений для вимірювання температури або іншої фізичної величини (ваги, тиску, вологості тощо), імпульсного або аналогового управління навантаженням за пропорційно-інтегрально-диференціальним (ПІД) законом, а також для формування додаткового сигналу, який може бути використаний для сигналізації у разі відхилення параметра від заданого температурного діапазону або для двопозиційного регулювання. Крім того, терморегулятор може керувати як процесом нагрівання, так і процесом охолодження об'єкта [3].

Емулятор печі використовується як об'єкт управління під час налагодження установок (систем), що функціонують із застосуванням терморегуляторів. ЕП10 може використовуватися під час організації лабораторних робіт у навчальних закладах, для виготовлення різних експериментальних стендів і демонстраційних макетів, для перевірки роботи системи управління без підключення до реального об'єкта. Емулятор печі – це мініатюрна пічка, яка конструктивно складається з нагрівача потужністю 10 Вт, світлодіода (для індикації протікання струму через нагрівач) та давача температури (термоперетворювач опору ТСМ 50М) [5].

Перетворювач інтерфейсів призначений для взаємного електричного перетворення сигналів інтерфейсів USB і RS-485 із забезпеченням гальванічної ізоляції входів між собою. Перетворювач інтерфейсів автоматично визначає напрямок передачі даних, що дає змогу виключити необхідність у додатковому управлінні обміном даними і значно знизити часові інтервали (тайм-аути) між кадрами даних; дає змогу підключати до промислової мережі RS-485 персональний комп'ютер, має USB-порт, при цьому живлення приладу здійснюється від шини USB. Під час підключення приладу до ПК в останньому з'являється віртуальний COM-порт, що уможливило без додаткової адаптації використовувати інформаційні системи (SCADA, конфігуратори), які працюють з апаратним COM-портом.

Для організації автоматизованого робочого місця оператора була застосована SCADA-система Zenon, яка є основним продуктом австрійської компанії COPA-DATA GmbH і займає провідні позиції на ринку HMI/SCADA систем. Zenon повністю виконує усі можливі завдання, які ставляться до HMI/SCADA систем, дає змогу здійснювати зручне і наочне управління, чітку взаємодію усіх інженерних комплексів, автоматичну адаптацію, інтелектуалізацію режимів роботи підсистем. SCADA-система Zenon призначена для роботи на операційних системах компанії Microsoft [6].

Враховуючи те, що терморегулятор не має власного драйвера для SCADA-системи Zenon, то для обміну даними між ним та SCADA-системою був використаний OPC-сервер фірми Овен. Технологія OPC – надає розробникам промислових програм універсальний фіксований інтерфейс (тобто набір функцій) обміну даними з будь-якими пристроями [1].

**Алгоритм роботи системи.** Оператор в SCADA-системі встановлює параметри налаштування ПІД-регулятора температури та значення уставки (завдання). Після встановлення усіх необхідних параметрів оператор може запустити систему у режимі “автоналаштування” або у режимі “робота” (з виходом системи на встановлену температуру та підтримання заданої температури). У процесі роботи системи в SCADA Zenon будуються графіки зміни температури в емуляторі печі. Для подальшого опрацювання система реєструє в архіві будь-які корегування величин, зроблені оператором.

Графіки зміни температури можуть бути експортовані у файл так само, як і архіви.

Керування нагрівом печі проводиться за допомогою ШІМ-сигналу, який генерується на “виході 1” ПІД-регулятора температури. Отриманий керуючий сигнал за протоколом Овен передається через OPC-сервер у SCADA-систему.

### Розроблення людино-машинного інтерфейсу системи регулювання температури з ПІД-регулятором засобами SCADA-системи Zenon

Враховуючи конкурентні переваги (високу надійність, велику гнучкість, можливість децентралізованої розробки, високу швидкість, ефективність і масштабованість) для розроблення людино-машинного інтерфейсу проектованої системи була обрана SCADA-система Zenon.

Структуру взаємодії між елементами пакета програм Zenon показано на рис. 2.

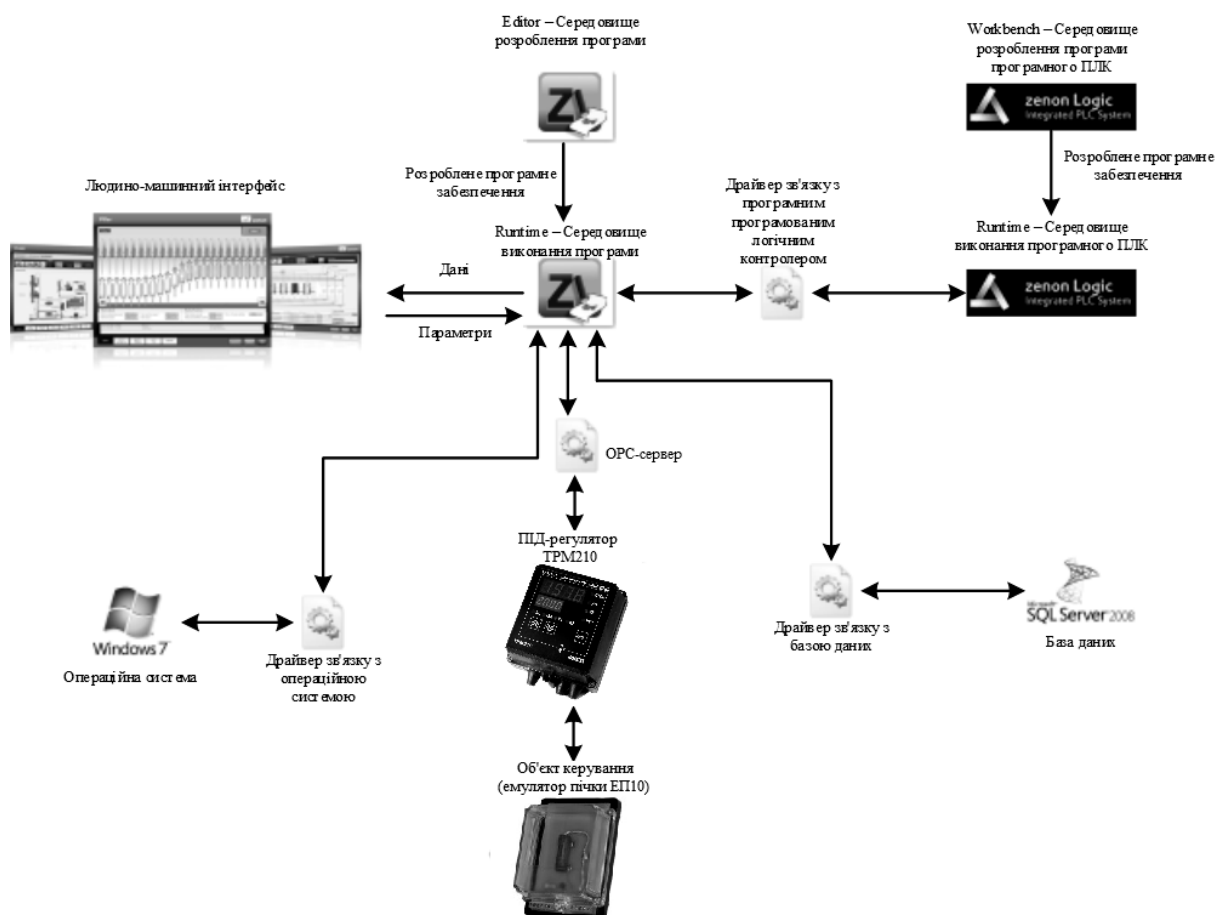


Рис. 2. Структура взаємозв'язків між елементами SCADA-системи Zenon

Розроблення людино-машинного інтерфейсу і логіки його роботи ведеться в середовищі розроблення Zenon Editor, складні логічні завдання і завдання симуляції фізичних контролерів виконуються за допомогою програм мовами програмування стандарту IEC 61131-3, які розробляються в середовищі розроблення Straton. Виконання розробленого людино-машинного інтерфейсу відбувається у середовищі виконання Zenon RT (Runtime), а програм, розроблених в Straton, – в середовищі виконання Straton RT, яке реалізує програмований логічний контролер.

Взаємозв'язок між Zenon RT з програмованими логічними контролерами, операційною системою і базами даних реалізується за допомогою драйверів. Кожному підключенню відповідає свій драйвер, що забезпечує легкість додавання та підтримки нових пристроїв, простоту розширення SCADA-системи, можливість індивідуального налаштування кожного з'єднання. Драйвери забезпечують протоколи обміну даними між SCADA-системою Zenon і периферійними пристроями, підключеними через фізичні та віртуальні канали зв'язку.

Оператор SCADA-системи за допомогою людино-машинного інтерфейсу може спостерігати за змінами у процесі управління, аналізувати одержані дані, проводити керування технологічним процесом, реагувати на позаштатні ситуації.

Оскільки програмне забезпечення Zenon не має вбудованого драйвера для обміну даними з терморегулятором TPM210, то був використаний OPC-сервер фірми Овен.

Для налаштування OPC-сервера на ПК, де буде виконуватись розроблена SCADA-система, необхідно застосувати конфігуратор OPC-сервера фірми Овен.

Для контролю за правильним налаштуванням OPC-сервера рекомендується використати програмне забезпечення MatrikonOPC Explorer для моніторингу даних, які надходять в OPC-сервер.

Розроблений людино-машинний інтерфейс системи регулювання температури з ПІД-регулятором в програмному забезпеченні Zenon показаний на рис. 3.

Головна сторінка розробленого програмного забезпечення містить зображення емулятора пічки з виведенням значення поточної температури всередині пічки.

Значення температури передається у TPM210 та виконується програма регулювання температури, використовуючи ПІД-регулятор.

Так само на екрані зображений TPM210, на якому розміщені елементи встановлення параметрів налаштування регулятора: P, Ti та Td. Також на зображенні TPM210 розміщено поле встановлення уставки SP. На виході регулятора генерується ШІМ-сигнал, який керує роботою нагрівача пічки.

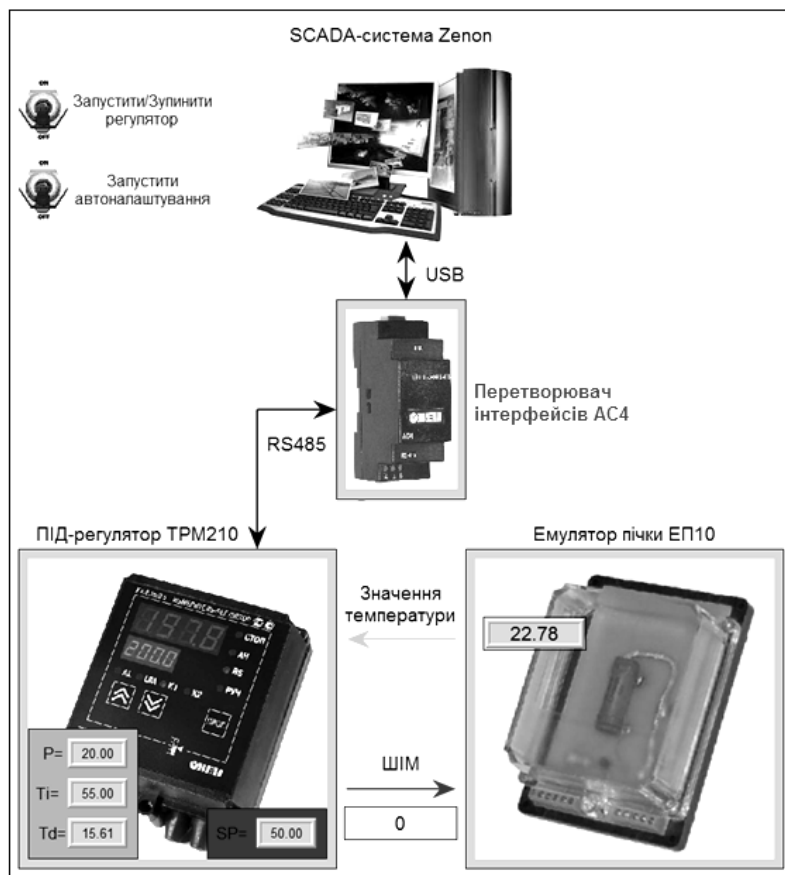


Рис. 3. Зовнішній вигляд розробленого людино-машинного інтерфейсу системи регулювання температури з ПІД-регулятором у середовищі Zenon

Дані з ПІД-регулятора TPM210 через перетворювач інтерфейсів AC4 передаються на OPC-сервер, звідки поступають у SCADA-систему.

З розробленого інтерфейсу системи у SCADA Zenon можливо здійснювати запуск і зупинку регулятора та його запуск у режимі автоналаштування.

Відображення графіка реалізовано за допомогою функції розширених трендів (Extended Trend). На графік виводиться поточне значення температури, значення  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  від уставки та вихідна потужність регулятора.

Для експорту реєстрованих значень передбачене збереження поточного графіка у файл.

### Експериментальна частина

Роботу системи автоматичного регулювання температури реалізовано у двох режимах:

- 1) у режимі ручного задання параметрів налаштування ПІД-регулятора для емулятора пічки;
- 2) у режимі автоналаштування.

На виході регулятора виробляється керуючий сигнал  $Y_i$ , дія якого скерована на зменшення відхилення  $E_i$ :

$$Y_i = \frac{1}{P} \left( E_i + t_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{ВИМ}} + \frac{1}{t_i} \sum_1^n E_i \Delta t_{ВИМ} \right) 100 \% , \quad (1.1)$$

де  $P$  – смуга пропорційності (програмований параметр);  $E_i$  – різниця між заданим  $T_{вст}$  і поточним  $T_i$  значенням вимірюваної величини або помилка регулювання;  $t_d$  – стала часу диференціювання (програмований параметр);  $\Delta E_i$  – різниця між двома сусідніми вимірюваннями  $E_i$  та  $E_{i-1}$ ;  $\Delta t_{ВИМ}$  – час між двома сусідніми вимірюваннями  $T_i$  та  $T_{i-1}$ ;  $t_i$  – стала часу інтегрування (програмований параметр);  $\sum_1^n E_i \Delta t_{ВИМ}$  – накопичена сума помилок.

Під час автоналаштування пристрій працює як двопозиційний регулятор. У результаті автоналаштування пристрій вираховує оптимальні значення коефіцієнтів ПІД-регулятора для цієї системи. Крім того, виконується визначення постійної часу вхідного фільтра і періоду імпульсів керування. Визначені коефіцієнти ПІД-регулятора відобразатимуться у SCADA-системі.

Перехідний процес зміни температури під час автоналаштування із значенням уставки  $50^{\circ}\text{C}$  показаний на рис. 4.

Визначені в результаті проведення автоналаштування параметри налаштування ПІД-регулятора:  $P=10.8$ ,  $T_i=104.6$ ,  $T_d=15.7$ .

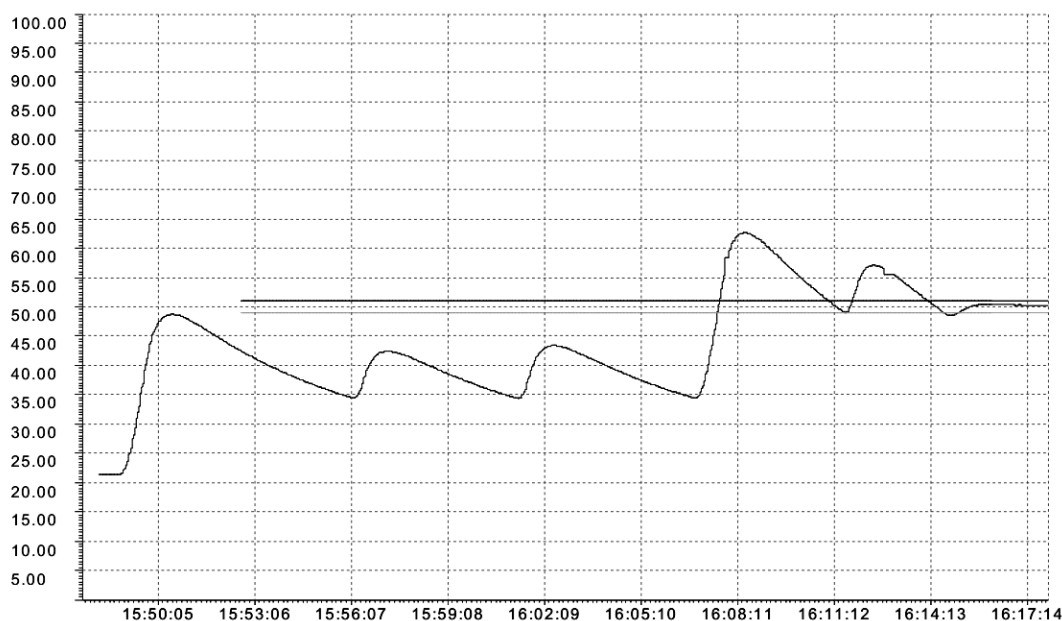


Рис. 4. Перехідний процес зміни температури під час автоналаштування

Перехідний процес зміни температури в системі у режимі ручного налаштування параметрів налаштування ПІД-регулятора при уставках 40, 60 та 80 °С показаний на рис. 5.

Графік зміни температури у системі для ручного режиму (рис. 5) показав, що за коректних параметрів налаштування ПІД-регулятора досягається висока якість регулювання, яка характеризується невисоким значенням часу регулювання та перерегулювання, а також незначними затратами на керування (зелена крива на рис. 5).

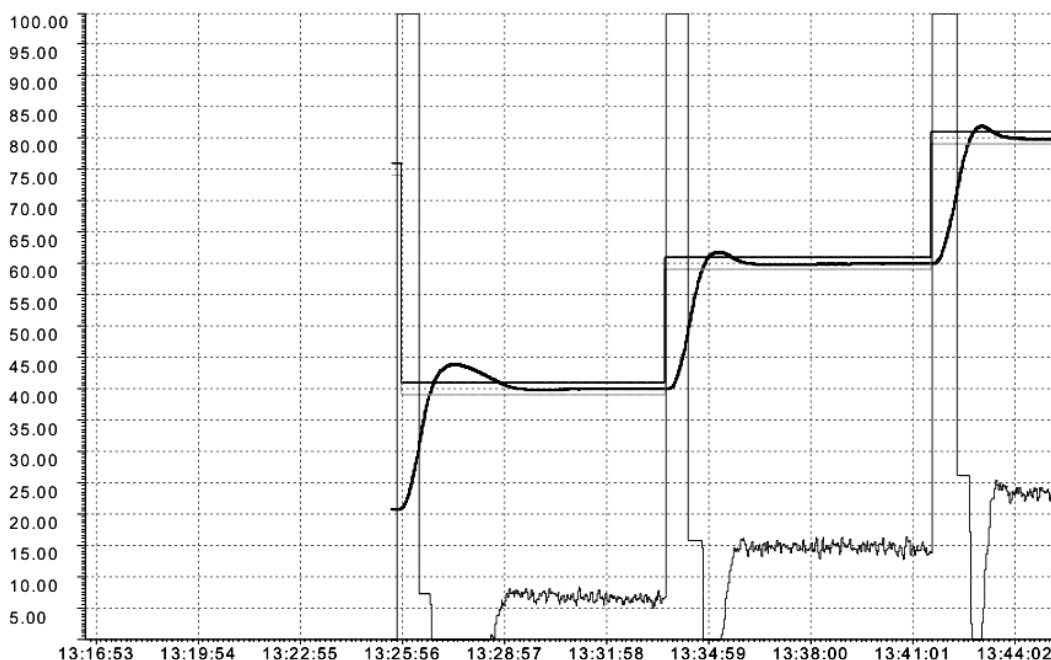


Рис. 5. Перехідний процес зміни температури у ручному режимі при уставках 40, 60 та 80 °С

## Висновки

У роботі розглядаються особливості розроблення системи регулювання температури з ПІД-регулятором на основі технології SCADA.

Запропоновано функціональну схему системи підтримання заданої температури на основі сучасної апаратної бази фірми OVEN.

Засобами SCADA-системи Zenon розроблено інтерфейс автоматизованого робочого місця оператора, який надає повний спектр інструментарію для зручного контролю та керування роботою проектованої системи. За допомогою SCADA в процесі функціонування системи реалізовано інтерактивну побудову перехідних процесів зміни температури в емуляторі печі; з метою подальшого оброблення передбачено можливість архівування даних та фіксації дій, проведених оператором.

Розроблене програмне забезпечення для SCADA-системи Zenon за дотримання певних обмежень фізичної платформи може однаково працювати на персональних і промислових комп'ютерах, НМІ панелях та інших пристроях.

Отже, запропонована система керування температурою з ПІД-регулятором на основі SCADA Zenon дасть змогу забезпечити зручність та високу якість регулювання, а також стати основою для розроблення автоматичних систем керування аналогічного класу.

1. Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П. *Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навч. посіб.* – К.: Ліра-К, 2011. – 552 с. 2. Медведев А. Е. *Автоматизация производственных процессов: учеб. пособ.* / А. Е. Медведев, А. В. Чупин; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2009. – 325 с. 3. *Измеритель ПИД-регулятор ТРМ 210: руководство по эксплуатации.* – Режим доступу: <http://owen.ua/> (23.08.2016). 4. Пальчевський Б. О. *Автоматизація технологічних процесів: навч. посіб.* – Львів: Світ, 2007. – 392 с. 5. *Эмулятор печи OVEN ЭП10.* – Режим доступу: <http://owen.ua/> (23.08.2016). 6. *НМІ/SCADA система Zenon.* – Режим доступу: <http://www.copa-data.com.ua/> (23.08.2016).